

WYDAWN. I NAKŁ. KOM. NAUK. TOW. „BRATNIA POMOC” SŁUCH.  
PAŃSTW. WYŻSZEJ SZKOŁY BUDOWY MASZYN I ELEKTROTECHNIKI  
IM. H. WAWELBERGA I S. ROTWANDA

---

# M A S Z Y N Y E L E K T R Y C Z N E

## PRĄDU STAŁEGO

Część I.

ZASADY DZIAŁANIA I BUDOWY PRĄDNIC

opracował

S T. J U R E K

przejrzał i poprawił

I n ż. S. J E R Ę M I C Z

Prof. elektrotechniki ogólnej

w Wyższej Szkole Technicznej im. Wawelberga i Rotwanda

W A R S Z A W A

1 9 3 2



~~Mr. in. 44~~



nr 44/6

## P R Z E D M O W A .

Zupełny brak w języku polskim dzieła o maszynach elektrycznych w szerszym zakresie, niezbędnym do studjów na politechnikach i w wyższych szkołach technicznych, skłonił nas do podjęcia niniejszej pracy.

Kurs został opracowany na podstawie wykładów w Państwowej Wyższej Szkole Budowy Maszyn i Elektrotechniki im. H. Wawelberga i S. Rotwanda w Warszawie, oraz uzupełniony według wydawnictw zagranicznych.

Podjęte zostało opracowanie kursu maszyn elektrycznych prądu stałego i zmiennego. Narazie, z braku funduszy, wydajemy tylko maszyny prądu stałego. Maszyny prądu zmiennego są w przygotowaniu.

Aby móc udostępnić szerszemu ogółowi korzystanie z tego wydawnictwa, kurs maszyn elektrycznych prądu stałego, ze względu na obszerny materiał, został podzielony na cztery części.

Część I-sza obejmuje teoretyczne zasady działania i budowy prądnic.

Część II-ga - silniki elektryczne i maszyny specjalne.

Część III-cia - badanie maszyn elektrycznych.

Część IV-ta - obliczenie i projektowanie maszyn.

Mamy nadzieję, że studentom - elektrykom praca niniejsza ułatwi gruntowne poznanie zasad działania i budowy maszyn elektrycznych.

Wszelkie uwagi, dotyczące treści, przyjmiemy zawsze z całym uznaniem.

Koledze St. Jurkowi dziękujemy za opracowanie i ułożenie niniejszego tomu.

Panu prof.St.Jeremiczowi składamy podziękowanie za przejrzenie i skorygowanie rękopisu.

Koledze Z.Księżopolskiemu, który wykonał rysunki, wyrażamy wdzięczność.

KOMISJA NAUKOWA

TOW. BRATNIEJ POMOCY.

Warszawa w kwietniu 1932r.

## W S T Ę P .

Maszyny elektryczne, któremi się w kursie niniejszym zajmiemy, będą to przyrządy, służące do wytwarzania energii elektrycznej kosztem pracy mechanicznej, bądź też do wytwarzania pracy mechanicznej kosztem pracy prądu elektrycznego. Pierwszy rodzaj maszyn nazywać będziemy prądnicami lub generatorami elektrycznymi, a drugi - silnikami elektrycznymi.

Istnieją inne sposoby wytwarzania energii elektrycznej np. z przemian chemicznych /ogniwa galwaniczne/, lecz urządzenia tego rodzaju są niepraktyczne, kosztowne, zajmują duże miejsca i używane na niewielką skalę tylko do celów specjalnych /teletechnika/.

W dobie obecnej, kiedy zachodzi potrzeba wytwarzania olbrzymich ilości energii elektrycznej, mierzonej w setkach tysięcy kilowatów, dzięki tendencji do budowy wielkich elektrowni okręgowych i centralnych w celu wyzyskania energii kinetycznej rzek górskich i wodospadów, a następnie potrzeba przesyłania tej energii elektrycznej na duże odległości, jedynie tylko przy pomocy maszyn elektrycznych jesteśmy w stanie to uskutecznić.

Sprawa przesyłania wielkich ilości energii elektrycznej, na duże odległości, została całkowicie rozwiązana z chwilą wynalezienia maszyn do tego celu służących, zwanych transformatorami elektrycznymi i posiada obecnie znaczenie pierwszorzędne w zagadnieniu elektryfikacji światowej. Przesyłanie energii elektrycznej jest tem ekonomiczniejsze im wyższe napięcie zastosujemy do tego celu, gdyż tą samą moc można przesyłać przy prądzie mniejszym, a więc cieńszymi przewodami. Obecnie przesyłanie energii elektrycznej odbywa się już pod napięciem 220.000 woltów, a niektóre linje są już nawet przystosowane do napięcia 380.000 woltów. Takie napięcie możemy wytworzyć jedynie przy pomocy transformatorów.

Jeżeli chodzi teraz o siłę napędową, to silniki elektryczne znalazły w przemyśle najszersze zastosowanie, dzięki posiadaniu całego szeregu zalet, których inne silniki nie posiadają, jak: ekonomiczne i bezpieczne w użyciu, proste i higieniczne w obsłudze, możność regulacji ilości obrotów w szerokich granicach, równomierność biegu, możność utrzymania stałej liczby obrotów niezależnie od obciążenia, duży moment rozruchowy i wiele innych.

Jak widzimy zastosowanie maszyn elektrycznych w życiu codziennem jest wielkie, to też zajmują one bardzo poważne miejsce w przemyśle wytwórczym.

W technice przemysłowej używane są przeważnie

dwa rodzaje prądów elektrycznych: stały i zmienny /zwykle sinusoidalnie lub możliwie zbliżony/. Prąd stały używany bywa przy trakcji, w walcownictwie, papiernictwie, do galwanostegji, galwanoplastyki, ładowania akumulatorów i t.p. Prąd zmienny znalazł zastosowanie do siły, oświetlenia i przy przesyłaniu energii elektrycznej, a to z tego powodu, że transformatory mogą pracować tylko przy prądzie zmiennym.

Dzięki doskonałości przetworników t.j. przyrządów służących do przetwarzania prądu zmiennego na stały, często do trakcji stosowany bywa prąd zmienny przetwarzany w samej lokomotywie na stały. Tym prądem napędzane są silniki, gdyż przy zastosowaniu silników prądu stałego jest możność regulowania ilości obrotów w szerokich granicach i bez strat, co nastręcza poważne trudności w przypadku stosowania zwykłych silników prądu zmiennego.

Gdy teraz zwrócimy uwagę na elektrownie wodne, to tu raczej więcej nadawałyby się, jako generatory, maszyny prądu stałego niż zmiennego. Moc elektrowni wodnej zależna jest od ilości wody i różnicy poziomów, a to zależne jest od pory roku i może wahać się w szerokich granicach /np. Nila 10-cie krotnie /, przeto turbiny muszą pracować w różnych bardzo warunkach ze zmienną liczbą obrotów, gdyż turbin nie można regulować w tak szerokich granicach jak zmienia się stan wody. Z tego powodu lepiej nadawałyby się do tych elektrowni

generatory prądu stałego, których napięcie, pomimo zmienności liczby obrotów, można utrzymać stałe przy pomocy wzbudzenia. Generatory prądu zmiennego muszą pracować przy stałej liczbie obrotów, aby utrzymać stałą częstotliwość na sieci.

Pomimo jednakże tych własności prąd stały nie znalazł tak szerokiego zastosowania, jak prąd zmienny, a to dlatego, że wielkie trudności sprawia wytwarzanie prądu stałego o wysokim napięciu, takim, aby opłacało się go przesyłać na większe odległości. Przyczyną tego jest t.zw. komutator t.j.organ, dzięki któremu prąd zmienny, powstający w tworniku maszyny prądu stałego, zostaje wyprostowany na jednokierunkowy. Komutatora nie dało się wybudować na wysokie napięcie. Maksymalne napięcie, na jakie zbudowane maszyny prądu stałego, nie przekracza 3000 woltów.

Generatory prądu zmiennego komutatora nie posiadają. Ponadto wadą prądu stałego jest to, że nie możemy zmieniać jednego napięcia w drugie /transformować/ bez wirujących części, a przy prądzie zmiennym osiąga się to bardzo łatwo przy pomocy transformatorów.

W celu utrzymania wysokiego napięcia prądu stałego można byliby kilka maszyn łączyć w szereg, lecz jest to bardzo kłopotliwe i kosztowne, gdyż zawsze maszyna prądu stałego jest o wiele droższa od maszyny prądu zmiennego tej samej mocy.



Rozwój maszyn elektrycznych zapoczątkowany został po odkryciu zjawisk elektromagnetycznych /Oersted 1819r./ i indukcji /Faraday 1831r./. Pierwszą maszyną elektryczną /silnik/ zbudował Fremont w 1830r. Została wyzyskana tu siła elektromagnesów, kolejne wzbudzanych i osadzonych na wewnętrznym obwodzie wieńca żelaznego. Między elektromagnesami umieszczony był bęben z materiału niemagnetycznego, mający na swym obwodzie, wsłupki tworzonych, kilka sztab żelaznych. Bęben osadzony był na wale i dzięki przyciąganiu sztab żelaznych kolejne przez poszczególne elektromagnesy został wprowadzany w szybki ruch wirowy.

Pierwszą prądnicę elektryczną, opartą na prawie indukcji elektromagnetycznej, zbudował Pixii w 1832r. Zasada polegała na tym, że obok dwóch elektromagnesów wirował stały magnes w kształcie podkowy i wzniesiał zmienne strumienie w rdzeniach elektromagnesów. Skutkiem tego w uzwojeniach indukowała się siła elektromotoryczna i prąd o kierunku zmiennym, który przy pomocy specjalnego komutatora, umieszczonego na wale, zmieniano na jednokierunkowy. Maszyny te jednakże praktycznego znaczenia nie posiadały.

Szersze znaczenie znalazła maszyna prądu zmiennego, zbudowana przez Vernera Siemens'a w 1856r., której uzwojenie, nawinięte na żelaznej kotwicy, wirowało w polu silnego magnesu stałego.

Wynalezienie w 1860r. niezależnie przez Pacinotti'ego i Gramme'a twornika pierścieniowego, zapoczątkowało rozwój maszyn elektrycznych prądu stałego, o stosunkowo jednakże niskiej sprawności i małym wyzyskaniu materiału. Wady te częściowo usunął Hefner-Alteneck przez zbudowanie w 1872r. twornika bębnowego, a całkowicie - Wenstrem w 1882r. przez wykonanie twornika bębnowego, żłobkowanego i złożonego z cienkich blach żelaznych, między sobą izolowanych skutkiem czego podniesiono sprawność maszyn przez zmniejszenie strat na prądy wirowe i histerezę.

Wszytkie te maszyny były dwubiegunowe. Dopiero Braun w 1887r. rozpoczął budowę maszyn wielobiegunowych przez co osiągnął lepsze wyzyskanie materiału i zmniejszenie wagi. Maszyny te były budowane na stosunkowo niewielką moc. Forma ich utrzymała się do dnia dzisiejszego.

Obecnie istnieje tendencja do budowy wielkich maszyn elektrycznych w pojedynczych jednostkach, a to z tego względu, że im większa maszyna, tem posiada większą sprawność, lepsze wyzyskanie materiału i mniejszą wagę w odniesieniu do jednostki mocy.

Budowa maszyn o wielkiej mocy była możliwa dopiero po wynalezieniu sposobów poprawienia warunków komutacji, przez wprowadzenie szczotek węglowych, biegunów dodatkowych i uzwojenia kompensacyjnego. To wszystko pozwoliło na wyzyskanie żelaza i miedzi do tego stopnia

że obecnie obciążenie linjowe przy maksymalnym zapotrzebowaniu energii z danej maszyny, może dochodzić do 900 amperów na 1 cm.długości obwodu twornika.

Dla orientacji, na jaką moc budowane są obecnie maszyny elektryczne w pojedynczych jednostkach, zamieszczamy kilka przykładów:

Firma niemiecka A E G zbudowała, do jednej z walcowni, silnik prądu stałego o mocy stałej 10.000 kW, którego moc chwilowa może dochodzić do 20.000 kW. Do wytwarzania energii elektrycznej dla tego silnika służy specjalny generator oczywiście o mocy jeszcze większej. Szwajcarska firma Brown Boveri & Co. wybudowała generator do celów elektrochemicznych o mocy 5000 kW, z którego można czerpać prąd dochodzący do 10.000 amperów.

Jeszcze większe jednostki budowane są dla prądu zmiennego np. A E G buduje generatory prądu trójfazowego do mocy pozornej 100.000 kilowoltamperów, a nawet 150.000 kVA przy napięciu 15.000 woltów. Ta sama firma buduje transformatory do mocy pozornej 30.000 kVA i na napięciu dochodzące do 100.000 woltów.

Firmy powyższe twierdzą, że ograniczenia co do wielkości budowy maszyn elektrycznych właściwie nie ma; brak jest tylko odpowiednich zapotrzebowań.